# COMPARACIÓN ENTRE ESTUDIOS ANALÍTICOS Y EXPERIMENTALES SOBRE IC DEBONDING

**Roberto Aguiar[a], Cristina Guzmán [b], Ana G. Haro[c]**

**[a]Departamento de Ciencias de la Tierra**
**Universidad de Fuerzas Armadas, ESPE, Quito Ecuador**
**rraguiar@espe.edu.ec**

**[b]ASTEC C.A. Asesoría Técnica, Quito Ecuador**
**cristina.guzmn@yahoo.es**

**[c]Department of Civil Engineering**
**North Carolina State University**
**Raleigh, USA**
**agharo@ncsu.edu**
**Carrera de Ingeniería Civil**
**Universidad de Fuerzas Armadas, ESPE**

## RESUMEN

Se analizan los estudios experimentales realizados en la Universidad Politécnica de Madrid y en la Universidad de Pittsburgh, en vigas de hormigón armado reforzadas con Fibra de Carbono. En la primera universidad se ensayaron 7 vigas y en la segunda 4.

En este artículo se comparan los resultados experimentales obtenidos en los ensayos de IC Debonding, con los modelos analíticos desarrollados por Teng y Chen (2003), Said y Wu (2007), ACI 440 de 2008, Seracino *et al.* (2007), López *et al.* (2011), Collins (2001) y Oller (2005).

**Palabras claves:** IC Debonding, CFRP, desunión, sistemas FRP adheridos externamente

## ABSTRACT

Experimental studies developed in Universidad Politécnica de Madrid and University of Pittsburg carried on reinforced concrete beams strengthened with CFRP are analyzed. Seven beams were tested in the first university and four in the latter.

In this paper, the experimental results from IC debonding tests are compared with analytical models formulated by Teng and Chen (2003), Said and Wu (2007), ACI 440 - 2008, Seracino *et al.* (2007), López *et al.* (2011), Collins (2001) and Oller (2005).

**Keywords:** IC Debonding, CFRP, debonding, externally bonded FRP systems

Recibido: Diciembre de 2013
Aceptado: Febrero de 2014

# 1 INTRODUCCIÓN

La aplicación de materiales compuestos (FRP), para el refuerzo, rehabilitación y reparación de estructuras de hormigón armado se ha convertido en una técnica más recurrente en la última década. López (2011).

Cuando una estructura de hormigón armado se fortalece con adhesivos de FRP, el vínculo entre hormigón-adhesivo-laminado juega un papel fundamental para garantizar la eficacia de la consolidación. El mecanismo de desprendimiento del refuerzo puede iniciarse a lo largo del vano debido a la presencia de fisuras intermedias de flexión, conocido también como *intermediante crack (IC) debonding.*

El modo de rotura prematura más habitual es el debido a la presencia de fisuras intermedias de flexión a lo largo de la luz. El aumento de la solicitación, una vez fisurada la pieza, lleva a la interface laminado-hormigón, y al conectarse éstas, se forma una fisura a lo largo de la misma que finalmente conduce al desprendimiento del refuerzo. Este desprendimiento se suele iniciar en las zonas más solicitadas de la pieza y se transmite de forma brusca y repentina hacia el extremo del laminado. Oller (2013).

El dimensionamiento del laminado FRP como refuerzo a flexión se debe realizar teniendo en cuenta el posible desprendimiento del mismo. Desde las aplicaciones más incipientes de este tipo de refuerzo, se empezaron a desarrollar modelos y formulaciones teóricas para describir los modos de rotura prematura observada experimentalmente.

En la figura 1 se presentan algunos de los modelos de falla que suelen producirse en una viga que trabaja a flexión, en ellos se aprecia que el IC debonding son las microfisuras que se producen en la interface hormigón-FRP debidas exclusivamente a flexión, el CDC debonding son debidas a flexión y corte, que no se estudian en este artículo.

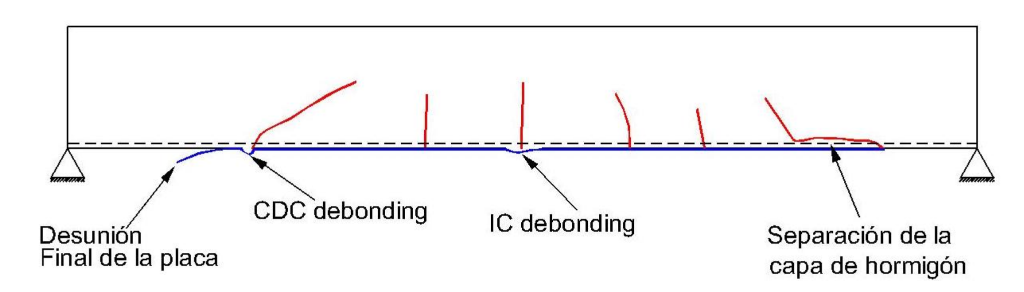



**Figura 1** Modos de fallo de desunión en vigas de hormigón reforzadas a flexión con FRP.

# 2 MODELOS DE CÁLCULO

Los modelos numéricos de cálculo con los cuales se realiza el estudio, son los desarrollados por Teng y Chen (2003); Said y Wu (2008); ACI 440 de 2008 y Seracino *et al.* (2007), López *et al.* (2011), Collins (2001) y Oller (2005), los mismos que se presentan a continuación.

## 2.1 MODELO DE TENG Y CHEN

Teng y Chen (2003) desarrollaron un modelo para predecir el esfuerzo de desunión IC, $\sigma_{ic}$, basado en un estudio previo de Chen y Teng (2001). El modelo consiste en la modificación del parámetro α que se ha especificado originalmente para ensayo de corte simple. El nuevo valor del parámetro se encuentra mediante la calibración con los resultados experimentales existentes en vigas simplemente apoyadas, vigas en voladizo y losas.

$$\sigma_{ic} = \alpha\beta_p\beta_L\sqrt{\frac{E_f\sqrt{f'c}}{t_f}} \qquad (1)$$

$$\beta_p = \sqrt{\frac{2-\frac{b_f}{b_c}}{1+\frac{b_f}{b_c}}} \qquad (2)$$

$$\beta_L = \begin{cases} 1 & \text{si} \quad L \geq L_e \\ \sin\frac{\pi L}{2L_e} & \text{si} \quad L < L_e \end{cases} \qquad (3)$$

$$L_e = \sqrt{\frac{E_f t_f}{\sqrt{f'c}}} \qquad (4)$$

Donde *Ef*, *tf*, *bf*, son el módulo elástico (MPa), espesor (mm) y el ancho (mm) de la placa de FRP, respectivamente; *f'c* y *bc*, son la resistencia máxima del hormigón a la compresión (MPa) y el ancho de la viga (mm), respectivamente; *L* es la longitud de la viga (mm), y *Le* es la longitud efectiva de adherencia (mm). $\alpha$ es un parámetro estadístico-experimental; un valor medio de $\alpha$ es 0,427 para proporcionar un mejor ajuste de los datos de prueba de cizallamiento. Los coeficientes $\beta_p$ y $\beta_L$, representan el factor de ancho y el factor de longitud efectiva, respectivamente.

## 2.2 MODELO DE SAID Y WU

Otro modelo de IC Debonding con base experimental y empírica, es el desarrollado por Said y Wu (2007). El modelo predice la deformación máxima permisible en FRP, $\varepsilon_{IC}$

$$\varepsilon_{IC} = C_1 (f'c)^{C_2} / (E_f t_f)^{C_3} \tag{5}$$

Con el fin de estimar las constantes, se estudió la base de datos de 200 muestras de ensayos y el modelo fue calibrado para adaptarse a los resultados experimentales. Se encontró que las predicciones más exactas se obtuvieron para:

$$C_1 = 0.23, C_2 = 0.2 \; y \; C_3 = 0.35$$

La descripción de la nomenclatura, así como las unidades de las variables que intervienen en la ecuación (5), respetan aquellas definidas en el modelo anterior.

## 2.3 MODELO DEL ACI 440

El ACI 440 de 2008 sigue básicamente al primer modelo indicado en este artículo. Se define un valor máximo para la deformación del FRP, cuando trabaja a flexión el mismo que se identifica como $\varepsilon_{fd}$ que es la deformación axial que puede ser desarrollada en la tira de FRP. El valor de $\varepsilon_{fd} = \varepsilon_{IC}$ y es la deformación máxima en el FRP para cuando trabaja a flexión.

$$\boldsymbol{\varepsilon_{fd}} = 0.41 \sqrt{\frac{f'c}{n E_f t_f}} \leq 0.9 \varepsilon_{fu} \tag{6}$$

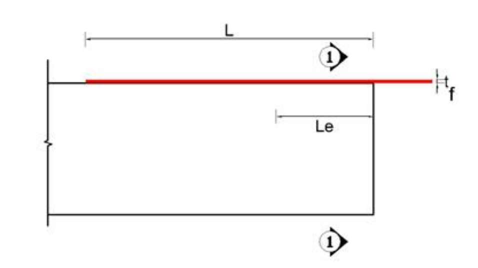
Donde *f'c*, $E_f$ y $t_f$, representan los mismos parámetros definidos en el primer modelo, y $\varepsilon_{fu}$ es la deformación de diseño a ruptura del FRP.

La ecuación (6), se basa en un grupo de resultados experimentales obtenidos a partir de vigas que fallaron en pérdida de adherencia intermedia. Por lo tanto, la ecuación propuesta se refiere a valores medios de las deformaciones axiales que se desarrollan en el FRP a la desunión.

## 2.4 MODELO DE SERACINO

En la parte superior de la figura 2, se presenta a una viga con FRP de espesor $t_f$ la misma que ha sido sometida a un ensayo de tracción, consecuencia de lo cual el FRP se desprende en una longitud $L_e$ (longitud efectiva de adherencia). En la parte inferior de esta gráfica se observa la relación esfuerzo de corte vs deformación lateral que se genera en la interface; se aprecian tres rangos, a saber: en el primero el comportamiento es elástico; en el segundo se producen

micro fisuras y a partir de $\delta_{max}$ empieza la zona de macro fisuras. El punto $\delta_{max}$ está asociado con el $\varepsilon_{IC}$



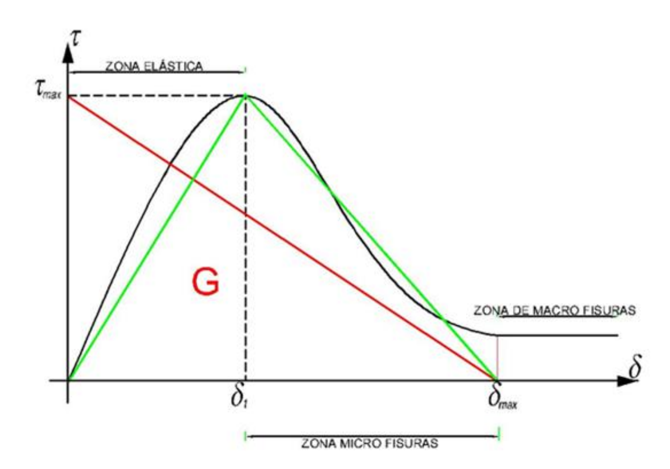




**Figura 2** Modelo del ensayo y relación corte deformación

El modelo de Seracino *et al.* (2007) considera que la relación deformación por corte vs. deformación lateral es lineal. Por lo tanto la energía de fractura (área bajo la curva) vale:

$$G = \frac{\tau_{max*}\delta_{max}}{2} \tag{7}$$

Donde $\tau_{max}$ es el esfuerzo máximo al corte; $\delta_{max}$ es la deformación longitudinal máxima. La forma de encontrar estos parámetros se indica a continuación en forma resumida.

$$L_e = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{\delta_{max}\, E_f\, A_f}{\tau_{max} L_{per}}} \tag{8}$$

Donde $L_e$ es la longitud efectiva de adherencia; $E_f$ es el módulo de elasticidad del FRP; $A_f$ es el área de la sección transversal del FRP. En la figura 3, se presenta en forma gráfica el modelo con el cual se determina $L_{per}$, variable que define la longitud del plano de falla. El corte 1-1 hace relación a la viga indicada en la parte superior de la figura 2.

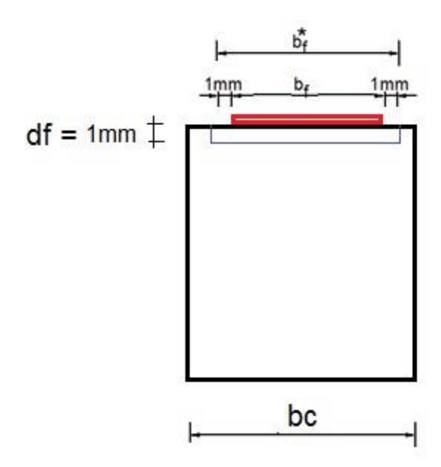



**Figura 3** Corte 1-1 de la viga y variables que intervienen en el modelo.

$$L_{per} = 2\ d_f + bf^* \quad (9)$$

$$bf^* = bf + 2mm \quad (10)$$

La variable no definida todavía es $d_f$ que es la profundidad del desprendimiento esperado que se considera igual a 1 mm.

$$A_f = n\ b_f t_f \quad (11)$$

Donde $n$ es el número de capas

$$\tau_{max} = \left(0.802 + 0.078\ \varphi_f\right) f'c^{0.6} \qquad [MPa] \quad (12)$$

$$\delta_{max} = \frac{0.976 * \varphi^{0.526}}{0.802 + 0.078\varphi_f} \qquad [mm] \quad (13)$$

$$\varphi_f = \frac{d_f}{bf^*} \quad (14)$$

$$P_{IC} = \sqrt{\tau_{max} * \delta_{max}} * \sqrt{L_{per}(EA)_f} \qquad Modelo\ 1$$

En este mismo análisis, y como producto de un estudio estadístico de aproximadamente 100 pull-tests, la ecuación (14) pudo ser expresada de la siguiente forma:

$$P_{IC} = \alpha p * 0.85 \varphi f^{0.25} f'c^{0.33} \sqrt{L_{per}(EA)_f} \qquad Modelo\ 2 \quad (15)$$

En donde $\alpha_p = 1$ para promedio de pull-test; y, $\alpha_p = 0.85$ para un límite bajo del 95% de confiabilidad. El sistema de unidades corresponde a N y mm. El esfuerzo y la deformación unitaria para IC debonding, se determinan a partir de las ecuaciones (18) y (19).

$$\sigma_{IC} = \frac{P_{IC}}{n b_f t_f} \quad (16)$$

$$\varepsilon_{IC} = \frac{\sigma_{IC}}{E_f} \quad (17)$$

## 2.5 MODELO DE LÓPEZ

En el siguiente apartado, se describe brevemente los estudios experimentales desarrollados por López *et al.* (2011) que conduce a la formulación del siguiente modelo para calcular $\varepsilon_{IC}$

$$\varepsilon_{IC} = \left(\frac{L_c}{d}\right)^{n1} \left(\frac{b}{b_f}\right)^{n2} \varepsilon_{fu}^{n3} \quad (18)$$

Donde $L_c$ es la luz de corte de la viga en mm; $d$ es la altura efectivaen mm; $b$ es el ancho de la viga en mm; $b_f$ es el ancho del FRP en mm; $\varepsilon_{fu}$ deformación de rotura del FRP; las constantes de ajuste del modelo valen: $n1 = 0.47; n2 = 0.47; n3 = 0.96$.

## 2.6 MODELO DE COLLINS

La propuesta del modelo de Collins (2001) para hallar la deformación $\varepsilon_{IC}$ tiene su respaldo analítico y experimental, y es la siguiente.

$$\varepsilon_{IC} = 0.57 \sqrt{\frac{\sqrt{f_c'}}{(E_f A_f)^{2/3}}} \quad (19)$$

Donde $f_c'$ es la resistencia del hormigón a compresión y se mide en MPa; $E_f$ es el módulo de elasticidad del FRP en MPa; $A_f$ es la sección trasnversal del FRP en $mm^2$.

## 2.7 MODELO DE OLLER

El modelo de Oller (2005), es involucra a las mismas variables del modelo de Collins (2001) y es el siguiente:

$$\varepsilon_{IC} = 11 \sqrt{\frac{(f_c')^{2/3}}{E_f A_f}} \quad (20)$$

Las unidades y significado de las variables, son las mismas del modelo anterior.

# 3 ENSAYOS CONSIDERADOS

En las vigas reforzadas a flexión existen dos zonas potenciales de iniciación del despegue, el mismo que puede comenzar en los extremos o en la parte central. El IC debonding se refiere al estudio de las micro grietas que se producen en la interfaz entre el hormigón y el FRP en un espesor que está alrededor de 1 mm, ver figura 1. Si la grieta que lleva al desprendimiento del FRP se produce en el hormigón, es otro problema que no se considera en este artículo.

## 3.1 ENSAYOS REALIZADOS EN LA POLITÉCNICA DE MADRID

Únicamente para que se conozca un poco más sobre los ensayos beam-test, en la figura 4 se indica el modelo y la viga ensayada en la Politécnica de Madrid, por López *et al.* (2011) quienes hicieron 5 ensayos beam-test para obtener la deformación de la placa FRP para la que se produce el despegue. La geometría de las vigas, el detalle del reforzamiento con CFRP, la calidad de los materiales que conforman el hormigón y las propiedades del CFRP utilizado se indican más adelante en este apartado. Por ahora lo que interesa es ver la forma como aplicaron las cargas hasta llevar al sistema al colapso.

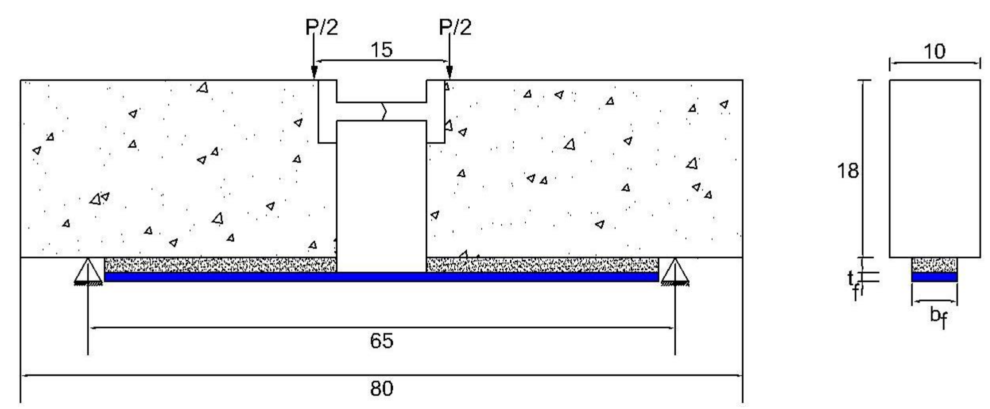



**Figura 4** Geometría de las vigas ensayadas por López *et al.* (2011).

En la tabla 1 se identifica cada una de las 5 vigas; se presenta la carga vertical P, con la que se obtuvo el colapso de la viga, la fuerza de tensión en el CFRP denominada TP, el esfuerzo de corte $\tau_m$ y la deformación de rotura del CFRP $\varepsilon_{fu}$. Se destaca que también establecieron el valor de $\varepsilon_{IC}$

**Tabla 1** Resultados de los ensayos realizados por López *et al.* (2011)

| Pieza | P(kN) | TP(kN) | τm(MPa) | $\varepsilon_{fu}$ |
|---|---|---|---|---|
| **BT-1** | 28 | 23,03 | 1,68 | 0.01801 |
| **BT-2** | 22,5 | 18,50 | 1,35 | 0.01447 |
| **BT-3** | 22,5 | 18,50 | 1,35 | 0.01447 |
| **BT-4** | 25,58 | 21,04 | 1,53 | 0.01645 |
| **BT-5** | 24,59 | 20,22 | 1,47 | 0.01581 |

## 3.2 RECOPILACIÓN DE ENSAYOS REALIZADOS

En el presente apartado, se describen los ensayos realizados en la Universidad de Pittsburgh por Reeve (2005) y en la Politécnica de Madrid por Heredia (2007) y López *et al.* (2011). En la tabla 2 se indica la geometría de las vigas y en la tabla 3 las propiedades de los materiales.

**Tabla 2** Geometría de las vigas.

| Ref. | Id. | b | h | d | d' | L | As | A's |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | mm | mm | mm | mm | m | mm | mm |
| Reeve 2005 | L2 | 152 | 254 | 229 | 25 | 4,54 | 253 | 143 |
| | H2 | 152 | 254 | 229 | 25 | 4,54 | 253 | 143 |
| | H2x1 | 152 | 254 | 229 | 25 | 4,54 | 253 | 143 |
| | H4 | 152 | 254 | 229 | 25 | 4,54 | 253 | 143 |
| Heredia 2007 | E-1 | 150 | 300 | 256 | 44 | 3,00 | 339 | 101 |
| | E-2 | 150 | 300 | 256 | 44 | 3,00 | 339 | 101 |
| López 2011 | **BT-1** | 100 | 180 | 150 | 30 | 0,80 | N/I | N/I |
| | **BT-2** | 100 | 180 | 150 | 30 | 0,80 | N/I | N/I |
| | **BT-3** | 100 | 180 | 150 | 30 | 0,80 | N/I | N/I |
| | **BT-4** | 100 | 180 | 150 | 30 | 0,80 | N/I | N/I |
| | **BT-5** | 100 | 180 | 150 | 30 | 0,80 | N/I | N/I |

| Ref. | Id. | $b_f$ | $t_f$ | a | Lc |
|---|---|---|---|---|---|
| | | mm | mm | mm | m |
| Reeve 2005 | L2 | 51 | 1,6 | 0 | 2,27 |
| | H2 | 51 | 1,6 | 0 | 2,27 |
| | H2x1 | 51 | 1,6 | 0 | 2,27 |
| | H4 | 102 | 1,6 | 0 | 2,27 |
| Heredia 2007 | E-1 | 50 | 2 (1) | 50 | 1 |
| | E-2 | 100 | 2 (1) | 50 | 1 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **López 2011** | **BT-1** | 50 | 1,55 | 0 | 0,65 |
| | **BT-2** | 50 | 1,55 | 0 | 0,65 |
| | **BT-3** | 50 | 1,55 | 0 | 0,65 |
| | **BT-4** | 50 | 1,55 | 0 | 0,65 |
| | **BT-5** | 50 | 1,55 | 0 | 0,65 |

Donde $b, h$ son la base y altura de la viga; $d, d'$ es la altura efectiva de la viga y la distancia desde la zona del hormigón a compresión al refuerzo que trabaja a compresión; $L$ es la longitud de la viga; $A_s, A'_s$ es el diámetro del refuerzo longitudinal tanto inferior como superior; $b_f, t_f$, es el ancho y el espesor del FRP, $a$ es la distancia desde el apoyo hasta el inicio del refuerzo con FRP; $L_c$ es la luz de corte de la viga. N/I significa que no indican ese dato; (1) valor impuesto.

**Tabla 3** Propiedades de los materiales: hormigón, acero y FRP

| **Ref** | **Id.** | $f'_c$ | $f_t$ | $E_c$ | $E_s$ | $f_y$ | **E's** | **f'y** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **MPa** | **MPa** | **MPa** | **GPa** | **MPa** | **GPa** | **mm** |
| **Reeve 2005** | L2 | 23,3 | 1.851 | 242782 | 2003 | 429 | 2003 | 429 |
| | H2 | 23,3 | 1.851 | 242782 | 2003 | 429 | 2003 | 429 |
| | H2x1 | 23,3 | 1.851 | 242782 | 2003 | 429 | 2003 | 429 |
| | H4 | 23,3 | 1.851 | 242782 | 2003 | 429 | 2003 | 429 |
| **Heredia 2007** | E-1 | 26,3 | 2,85 | 28000 | 192 | 509 | 199 | 574 |
| | E-2 | 26,3 | 2,85 | 28000 | 192 | 509 | 199 | 574 |
| **López 2011** | **BT-1** | 21,2 | N/I | N/I | N/I | N/I | N/I | N/I |
| | **BT-2** | 21,2 | N/I | N/I | N/I | N/I | N/I | N/I |
| | **BT-3** | 21,2 | N/I | N/I | N/I | N/I | N/I | N/I |
| | **BT-4** | 21,2 | N/I | N/I | N/I | N/I | N/I | N/I |
| | **BT-5** | 21,2 | N/I | N/I | N/I | N/I | N/I | N/I |

| **Ref** | **Id.** | $f_{yv}$ | **s** | $E_f$ | $\varepsilon^*_{fu}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **MPa** | **mm** | **GPa** | **%** |
| **Reeve 2005** | L2 | - | . | 155 | 0,18 |
| | H2 | - | - | 155 | 0,18 |
| | H2x1 | - | - | 155 | 0,18 |
| | H4 | - | - | 155 | 0,18 |
| **Heredia 2007** | E-1 | 574 | 150 | 165 | 0,17 |
| | E-2 | 574 | 150 | 165 | 0,17 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **López 2011** | **BT-1** | N/I | N/I | 160 | 0,1801 |
| | **BT-2** | N/I | N/I | 160 | 0,1447 |
| | **BT-3** | N/I | N/I | 160 | 0,1447 |
| | **BT-4** | N/I | N/I | 160 | 0,1645 |
| | **BT-5** | N/I | N/I | 160 | 0,1581 |

Donde: $f_c'$ , $f_t$ son la resistencia a la compresión máxima del hormigón y la resistencia a la tracción del hormigón; $E_c, E_s, E_s'$ son los módulos de elasticidad del hormigón; del acero a tracción y del acero a compresión; $f_y$ , $f_y'$ , $f_{yv}$ son los límites de fluencia del acero a: tracción, compresión y del refuerzo transversal; $s$ es el espaciamiento del refuerzo transversal; $E_f, \varepsilon_{fu}^*$ es el módulo del elasticidad del FRP y la deformación de rotura del FRP.

# 4 RESULTADOS DEL ESTUDIO

En la tabla 4 se presenta los resultados hallados experimentalmente $\varepsilon_{pr}$ y los obtenidos aplicando los modelos de Teng y Chen, 2003 (T-Ch); Said y Wu, 2007 (S-W); ACI 440; López *et al.,* 2011 (L); Seracino, 2007 (S); Collins, 2001 (C-) y Oller, 2005. Estos mismos resultados se presentan en la figura 5.

**Tabla 4** Deformación $\varepsilon_{IC}$ hallados experimentalmente y analíticamente

| **Ref** | **Id** | **εIC µm Exp.** | **εIC µm T-Ch** | **εIC µm S- W** | **εIC µm ACI 440** | **εIC µm L** | **εIC µm S (1)** | **S (2)** | **εIC µm C** | **εIC µm O** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Reeve 2005** | **L2** | 10433 | 2103 | 5167 | 4248 | 11381 | 1865 | 1857 | 5375 | 8834 |
| | **H2** | 10433 | 2103 | 5167 | 4248 | 11381 | 1865 | 1857 | 5375 | 8834 |
| | **H2x1** | 10433 | 2103 | 5167 | 4248 | 11381 | 1865 | 1857 | 5375 | 8834 |
| | **H4** | 6777 | 2103 | 5167 | 4248 | 8217 | 1865 | 1857 | 4266 | 6246 |
| **Heredia 2007** | **E-1** | 6111 | 1882 | 5179 | 3660 | 6976 | 1690 | 1680 | 5070 | 8053 |
| | **E-2** | 5151 | 1506 | 5179 | 3660 | 5036 | 1390 | 1400 | 4924 | 5694 |
| **López 2011** | **BT-1** | 1801 | 1840 | 5482 | 3791 | 6395 | 1880 | 1870 | 5284 | 8646 |
| | **BT-2** | 1447 | 1840 | 5482 | 3791 | 5186 | 1880 | 1870 | 5284 | 8646 |
| | **BT-3** | 1447 | 1840 | 5482 | 3791 | 5186 | 1880 | 1870 | 5284 | 8646 |
| | **BT-4** | 1645 | 1840 | 5482 | 3791 | 5866 | 1880 | 1870 | 5284 | 8646 |
| | **BT-5** | 1581 | 1840 | 5482 | 3791 | 5646 | 1880 | 1870 | 5284 | 8646 |

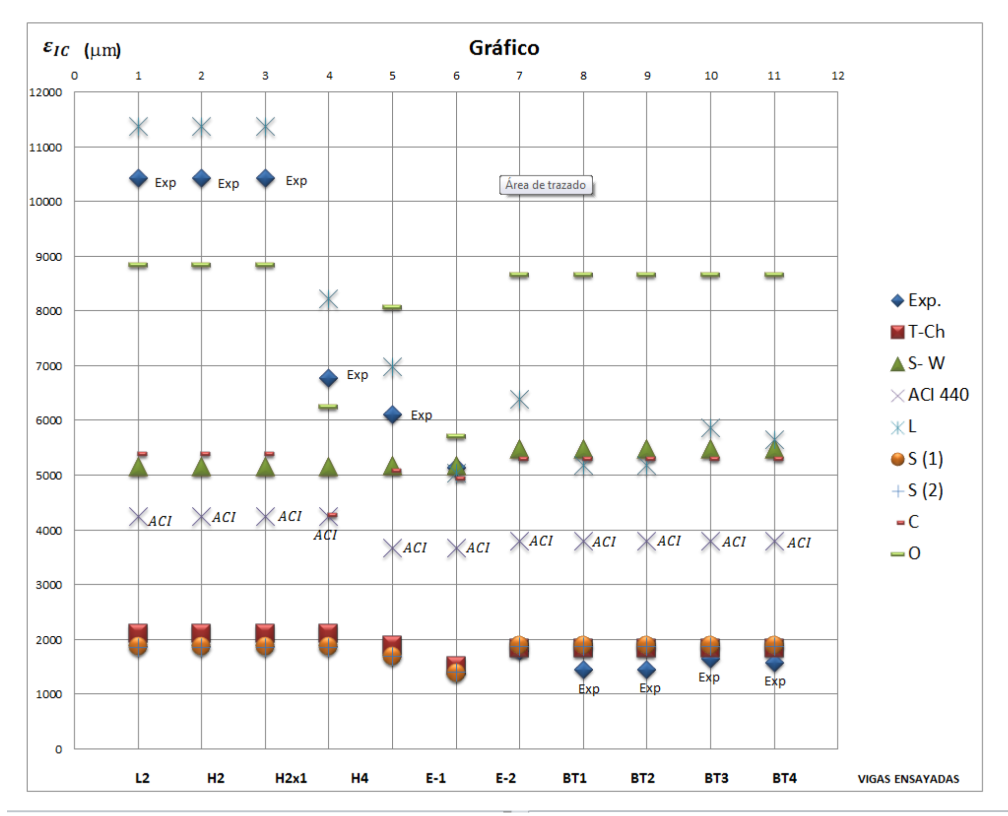



**Figura 5** Resultados de ensayos realizados y obtenidos con los modelos.

Del análisis de la tabla 4 y figura 5, se puede indicar que en los ensayos realizados por López et al. (2011) coinciden muy bien los que se hallan con los modelos de Seracino (2007) y Teng y Chen (2003); para los otros ensayos estos dos modelos presentan valores bajos.

El modelo de López et al. (2011) es el que mejor se aproxima a los resultados experimentales realizados por Reeve (2005) y Heredia (2007); el modelo de Oller (2005) se aproxima bastante bien a estos resultados.

El modelo del ACI 440 de 2008 presenta valores medios, en general; menores que los alcanzados por Reeve (2005) y Heredia (2007) y mayores a los encontrados por López et al. (2011).

## 5 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

El reforzamiento de estructuras con FRP adherido externamente se ha convertido en una alternativa factible por su versatilidad constructiva. Varias investigaciones se han realizado para determinar los posibles mecanismos de falla, entre ellos el IC debonding que ha sido expuesto en el presente estudio a través del análisis de varios modelos desarrollados alrededor del mundo.

Resultados experimentales de ensayos realizados en la Universidad Politécnica de Madrid y en la Universidad de Pittsburgh han sido comparados con los modelos tratados. De este análisis se desprende la conclusión que pese a contar con soluciones que reflejan cierto grado de exactitud para determinados casos, la gran mayoría no se ajusta en forma general a la experimentación.

Es necesario ampliar el espectro de ensayos a ser examinados a fin de poder establecer con mayor certeza, aquel modelo que concuerde con los comportamientos esperados.

## REFERENCIAS

[1]. Bykov Anton Alekseevich, Kalugin Aleksandr Vasilyevich, New Model for Evaluation of FRP Debonding strain for russian design code Department of Building Constructions, Perm National Research Polytechnic University, 614990, Perm, Komsomol prospect, 29, Russia.

[2]. A. Bilotta, C. Faella, E. Martinelli, and E. Nigro, 2013. Design by testing procedure for intermediate debonding in EBR FRP strengthened RC beams, Department of Structural Engineering, University of Naples ‘‘Federico II’’, Naples, Italy, Department of Civil Engineering, University of Salerno, Fisciano (SA), Italy.

[3]. E.Oller, A. R. Marí y L. Bellido 2013. Dimensionamiento del refuerzo a flexión con laminados de polímero reforzado con fibras (FRP) evitando su desprendimiento prematuro, Informe de la Construcción Vol. 65, 532, 519-531 octubre-diciembre 2013.

[4]. L. P. Ye, X. Z. Lu, and J. F. Chen, 2005. *Proceedings of International Symposium on Bond Behaviour of FRP in Structures (BBFS 2005),* Design proposals for the debonding strengths of FRP Strengthened RC beams in the Chinese design code.

[5]. J. López, J. Gómez y E. González, 2011. Evaluación del comportamiento de la interfase FRP- hormigón en vigas de hormigón reforzadas con materiales compuestos E.T.S.I de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.

[6]. J.G. Teng and J.F. Chen, 2007. Debonding failures of RC beams strengthened with externally bonded FRP reinforcement: behaviour and modeling Asia-Pacific Conference on FRP in Structures (APFIS 2007) S.T. Smith (ed) © 2007 International Institute for FRP in Construction.

[7]. Chen J.F. and Teng J.G., 2001. Anchorage strength models for FRP and steel plates bonded to concrete. Journal of Structure Engineering, ASCE, 127 (7), 784-791.

[8]. R. Seracino, M. R. Raizal Saifulnaz; and D. J. Oerhlers, 2007. Generic debonding resistance of EB and NSM plate-to-concrete joints. Journal of Composites for Construction, ASCE, 11(1), 62-70.